



III-086 – ESTUDO DE ALGUNS MATEIAIS ALTERNATIVOS PARA REATORES TIPO BARREIRA PERMEÁVEL EM TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS

Lucian Corguinha da Silva⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Química pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Maria Cristina Moreira Alves⁽¹⁾

Professora Associada Universidade Federal do Rio de Janeiro, Doutorado em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (1992), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1982) e Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (1978)

Juacyara Carbonelli Campos⁽¹⁾

Professora Adjunta Universidade Federal do Rio de Janeiro, Doutorado em Engenharia Química pela Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharias (2000), graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1994), Licenciatura em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1998).

Thais Delazare⁽¹⁾

Química pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutoranda em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos na EQ/UFRJ.

Cecília Maria Mota Lins

Doutoranda em Engenharia Civil Universidade Federal de Pernambuco, mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2008), graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2005).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Brigadeiro Trompowsky s/n, Ilha do Fundão, 22200-000 - Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Telefone: (21) 25627437 e-mail: lucian@ufrj.br

RESUMO

O descarte inadequado do lixiviado é um dos fatores chaves do impacto ambiental de aterros de resíduos sólidos urbanos. Entre os compostos presentes no lixiviado, a amônia destaca-se devido as suas altas concentrações mesmo após longos períodos de deposição dos resíduos(JUCÁ, 2003). Diante dos impactos ambientais causados e de uma legislação cada vez mais severa para o descarte de efluentes, o desenvolvimento de procedimentos eficientes e de baixo custo para o tratamento dos mesmos, principalmente os de origem de aterros sanitários, torna-se fundamental.

O presente projeto tem como objetivo estudar e avaliar tecnologias de tratamento do lixiviado produzido em aterros sanitários enfocando o processo de adsorção, especialmente para remoção de nitrogênio amoniacal e DQO como uma etapa de polimento em um sistema de tratamento .

Reconhecer que materiais cumprem o papel de adsorvente para o íon amônio presente no lixiviado e quantificar as suas eficiências, é o principal objetivo deste projeto, no sentido de contribuir com o conhecimento e técnicas utilizadas em estações de tratamento de lixiviado, especialmente de aterros de pequeno porte. Para tanto também foram estudados os tratamentos preliminares mais adequados para a viabilização do uso da zeólitas, tais como: coagulação, processo oxidativo de Fenton e stripping.

Sendo assim, o presente trabalho vem relatar o estudo realizado de tratamento do lixiviado oriundo do aterro sanitário de Gramacho-RJ que devido suas características apresenta um grande desafio.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, Coagulação, Stripping, Adsorção com Zeólita, Integração de Processos .

INTRODUÇÃO

A questão dos resíduos sólidos no Brasil tem sido amplamente discutida com a sociedade a partir de levantamentos da situação atual brasileira e perspectivas para o setor. De uma forma geral, este assunto permeou por várias áreas do conhecimento, desde o saneamento básico, meio ambiente, inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem, e mais recentemente o aproveitamento energético dos gases provenientes dos aterros sanitários (Jucá, 2003).



O gás produzido pelos aterros, mistura do biogás oriundo da degradação biológica da matéria orgânica com diversos outros compostos voláteis, pode, em determinadas circunstâncias, proporcionar algum incremento de receita por meio da venda de créditos de carbono. Entretanto, o mesmo não ocorre com o lixiviado, cujo tratamento sempre implica em aumento de custos aos operadores do aterro podendo muitas vezes inviabilizar o processo de tratamento, especialmente para pequenos municípios. A composição do lixiviado apresenta grandes variações dependendo, entre outros fatores, da natureza dos resíduos sólidos depositados, da flora microbiana ativa, do clima, estação do ano e da idade do aterro. Essas variações fazem com que os lixiviados apresentem níveis de tratabilidade diferentes. A elevada carga poluente do lixiviado exige que o mesmo receba um tratamento adequado antes de ser disposto num corpo receptor ou no solo, sob pena de contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Esse tratamento ainda representa um desafio aos profissionais da área, não tendo sido encontrada uma solução técnica e economicamente eficaz (Souto e Povinelli, 2007). Além disso, esses fatores tornam difícil a determinação e adoção de uma única técnica eficaz, já que a técnica adotada para determinado aterro nem sempre é aplicável a outro.

Raras são as estações de tratamento de lixiviado que apresentam desempenho satisfatório. Na ausência de melhores alternativas, as opções adotadas mais frequentemente são as lagoas de estabilização e o envio do lixiviado a estações de tratamento de esgotos domésticos ou industriais. Neste sentido, alguma pesquisa tem sido apoiada com o intuito de se encontrar alternativas para o tratamento do lixiviado, que passa normalmente por várias etapas dentro de uma estação de tratamento de lixiviado.

Levantamento recente da composição do lixiviado em aterros brasileiros (Souto e Povinelli, 2007) mostrou uma grande variação da presença de alguns elementos no lixiviado, como por exemplo, concentrações de Nitrogênio amoniacal entre 0,4 e 1800 mg/L de N, DBO entre 20 e 8600 mg/L e DQO entre 190 e 22800 mg/L e DQO. A faixa de pH encontrada variou entre 7,2 e 8,6. Todos os dados representam a frequência de ocorrência de valores mais provável.

O tratamento para que o lixiviado atinja níveis de lançamento aceitáveis requer ainda bastante investigação. Por exemplo, a concentração de Nitrogênio amoniacal do lixiviado do aterro de Gramacho variou entre 1330 e 1815 mg/l de N entre 1993 e 2003 (Ritter e Campos, 2006). Este mesmo aterro utiliza membranas para nanofiltração no seu processo final de tratamento do lixiviado, um processo bastante oneroso, sendo portanto necessários tratamentos mais adequados à situação atual dos aterros sanitários, que nem sempre dispõem de recursos suficientes para implantação de tal tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Um primeiro levantamento foi realizado com o intuito de quantificar e verificar o potencial de remoção de nitrogênio amoniacal pela zeólita. Para tanto foram encontrados os pontos ótimos de operação como: tempo de equilíbrio, onde nenhuma remoção significativa de nitrogênio ocorria com o tempo; a velocidade de agitação mais adequada ao processo; a forma mais adequada de zeólita, entre elas virgem ou macerada e ativada ou não ativada. É chamada de virgem, a zeólita com granulometria de 1-3 mm em sua forma comercial e macerada aquela que passou por um processo de trituração. Todos os dois tipos referidos podiam ou não serem submetidas ao processo de ativação descrita nesse trabalho, dando origem a identificadas de ativada ou não ativada. Para a avaliação das propriedades da zeólita uma isoterma foi levantada ainda nessa etapa.

A segunda etapa do projeto esteve focada no estudo de tratamentos preliminares alternativos anteriores ao contato com a zeólita, de forma a reduzir as concentrações dos principais contaminantes do lixiviado. Esta necessidade ocorre devido a rápida saturação da zeólita que mesmo tendo elevada eficiência não é capaz de tratar o lixiviado bruto de forma sustentável. Entre os tratamentos testados estão: coagulação, processo oxidativo de Fenton e stripping, sendo encontrado em cada um deles a forma ótima de operação.

Uma terceira etapa ainda em estudo refere-se à avaliação da capacidade de regeneração da zeólita, sendo este o maior desafio a ser enfrentado, visto que a viabilidade do processo depende da sua reutilização.

As etapas de trabalho serão descritas a seguir:



PRIMEIRA ETAPA: ENSAIOS DE ADSORÇÃO E LEVANTAMENTO DE ISOTERMAS DA ZEÓLITA

Foram realizados ensaios de adsorção da zeólita Zeosorb 1-3 mm comercial em quatro formas: Virgem Ativada, Virgem não-ativada, Macerada Ativada e Macerada não-ativada.

Determinação de condições ótimas de agitação

Nessa etapa foi avaliada qual a velocidade de agitação em um Jar Test mais favorável a adsorção. Para tanto uma solução sintética de nitrogênio amoniacal de 300 mg/L na proporção de 100 mL de solução/ 6g de zeólita foi agitada por 4 horas nas seguintes velocidades: 50, 150, 250 e 400 rpm, sendo avaliado o nitrogênio residual da fase líquida. Um ensaio sem a presença de zeólitas também foi realizado com o intuito de quantificar a perda de N-NH_4^+ para a atmosfera.

Ativação

A ativação foi realizada a partir do contato entre 20 g de zeólita e 0,20 L de uma solução aquosa de NaCl 1 mol/L por um período de 24 h à temperatura ambiente, sendo a suspensão resultante posteriormente filtrada. O material ativado úmido foi lavado com água deionizada e seco em estufa (100 °C) por 4 h (OLIVEIRA E RUBIO, 2006; PAIVA E FALCÃO, 2005).

Ensaio de adsorção para escolha de melhor forma de zeólita

As quatro formas da zeólita foram postas em contato com uma solução sintética de nitrogênio amoniacal de 300 mg/L na proporção de 100 mL de solução/ 6g de zeólita.

Para a agitação da mistura foi utilizado o Jar Test numa velocidade de 140 rpm.

Durante a agitação foram recolhidas alíquotas de 15 mL de mistura com os seguintes tempos de agitação: 15 min, 30 min, 1 h, 1h 30 min, 2 h, 2h, 3h, 4h, que foram filtradas e o nitrogênio residual quantificado por eletrodo sensível. Ensaios preliminares mostraram que após quatro horas, não há mais remoção significativa do íon amônio.

Levantamento de Isotermas

As isotermas foram levantadas variando a concentração de zeólita virgem não ativada por 100 mL de solução sintética de nitrogênio amoniacal com concentração de 300 mg/L. As seguintes concentrações foram avaliadas: 2, 4, 6, 8 e 10 g /100mL de solução. O N-NH_4^+ residual foi então quantificado por eletrodo sensível para a investigação de qual o modelo de adsorção mais adequado ao processo em estudo: Langmuir ou Freundlich.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Os resultados da avaliação da influência da velocidade de agitação na adsorção de N-NH_4^+ estão representados na figura 1. Observa-se que a percentagem de remoção sofre influencia da velocidade de agitação até 140 rpm, sendo a zeólita macerada mais afetada por essa variável. Velocidades de agitação acima de 140 rpm não oferecem incremento de eficiência, sendo esta portanto a velocidade escolhida para a utilização nos demais experimentos.

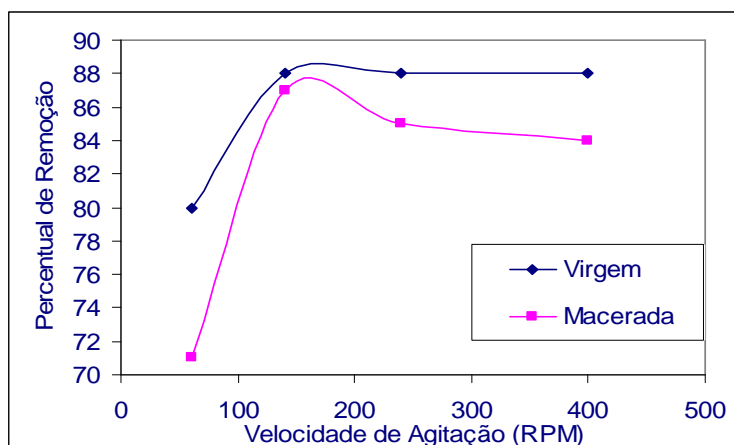


Figura 1: Percentual de remoção de N-NH_4^+ em função da velocidade de agitação

Após a realização da ativação foi procedido o ensaio de adsorção conforme descrito anteriormente, cujos resultados estão apresentados na figura 2. Os resultados encontrados mostram que a zeólita em sua forma macerada ativada apresentam uma cinética mais favorável, porém, até o tempo de 4 horas todas as quatro formas estudadas apresentaram aproximadamente a mesma capacidade de adsorção. Observando-se as duas curvas referentes às zeólitas não ativadas, verifica-se que a macerada apresenta cinética um pouco mais rápida que a zeólita virgem.

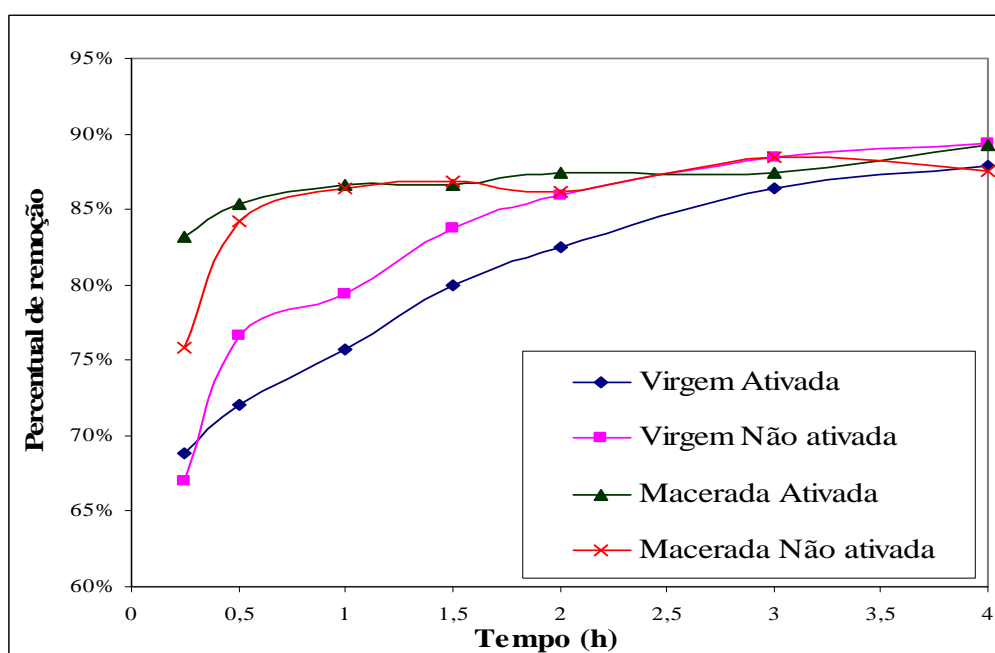


Figura 2: Comparativo do percentual da remoção de N-NH_4^+ em função do tempo para as diferentes zeólitas.

A utilização da zeólita ativada macerada é justificável no caso do uso em barreira permeável, pois reduz o tempo necessário para o tratamento.

Dentre os modelos estudados para a adsorção, o modelo de Langmuir foi o que melhor se ajustou aos pontos experimentais com coeficiente de correlação de 0,9951, enquanto o modelo de Freundlich obteve um coeficiente de 0,9924 apresentando também uma boa descrição do processo. As isotermas encontradas estão detalhadas na figura 3:

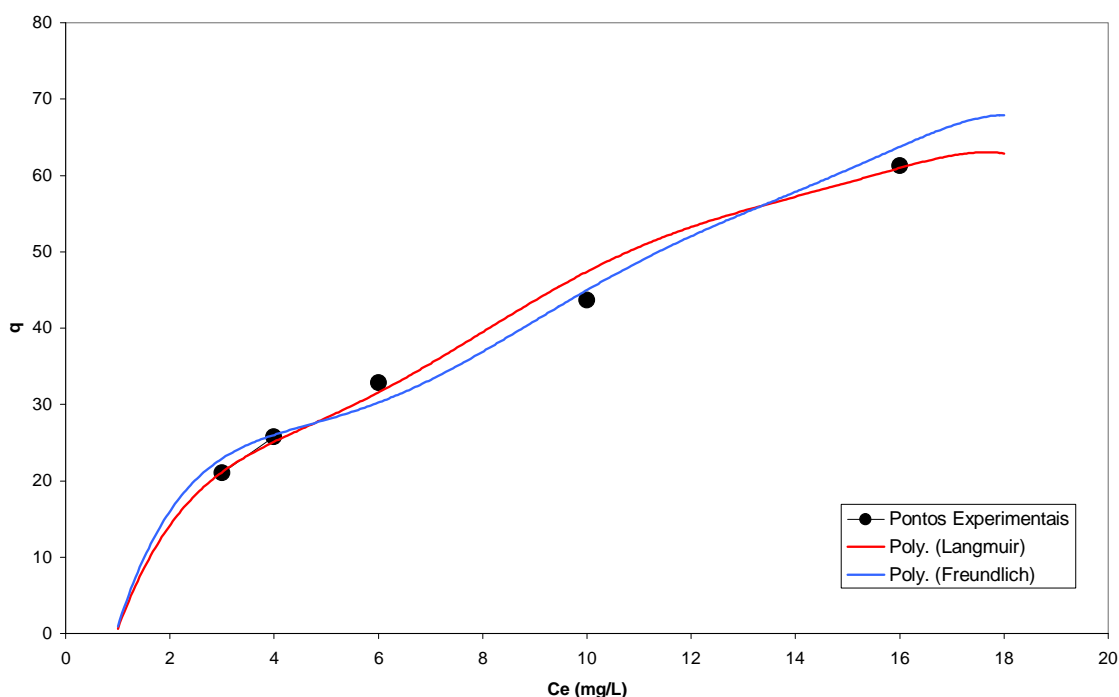


Figura 3: Isotermas de Adsorção

De posse do gráfico obtemos os seguintes parâmetros dos modelos:

Isoterma de Langmuir: $q = Ce / (0,01146 * Ce + 0,5265)$

Isoterma de Freundlich: $q = 5,3914 * Ce^{0,531}$

SEGUNDA ETAPA: ESTUDO DE TRATAMENTO PRELIMINAR AO PROCESSO DE ADSORÇÃO

Foram investigadas as seguintes possibilidades de pré-tratamento: arraste por ar, coagulação e reação de oxidação de Fenton. Tais tratamentos são capazes de remover a maior parte do nitrogênio amoniacal e da DQO, reduzindo a saturação da zeólita e evitando a formação de filmes de matéria orgânica, que impedem a adsorção.

Arraste de Ar (Stripping)

A remoção de amônia por arraste de ar (Air stripping), atualmente, é o método mais comum para eliminar uma elevada concentração de nitrogênio amoniacal em sua forma livre (NH_3). No presente trabalho esse processo foi realizado pelo aumento da temperatura do lixiviado até 65°C em uma coluna com controle de temperatura acoplada a um sistema de alimentação de ar pela base.

Processo Oxidativo avançado (Reação de Fenton)

Como tentativa de pré-tratamento foi investigada a reação de Fenton que possui dois mecanismos de efeito na remoção da matéria orgânica, a coagulação e a oxidação. Resultados demonstraram ser este um eficiente tratamento para a remoção da DQO, porém foi observado que o mecanismo de coagulação era bem mais pronunciado que o mecanismo oxidativo, o que levou o estudo para a coagulação propriamente dita conforme descrito a seguir.

Coagulação

A avaliação da coagulação procedeu da seguinte forma:

- 1) Escolha do melhor coagulante entre cloreto férrico, sulfato de alumínio, Tanfloc SL e Tanfloc SG. Todos os coagulantes testados foram utilizados na concentração de 800 mg/L nos pH's 3, 4, 5, 6, 7.



- 2) Escolhido o melhor coagulante e o melhor pH, foi avaliada qual a concentração de coagulante mais adequada ao processo: 500, 1000, 1500 ou 2000 mg/L.

Foram monitorados nestes ensaio a DQO e a turbidez do lixiviado antes e após o tratamento.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

O processo de stripping foi realizado até o lixiviado alcançar a concentração de 300 mg/L de nitrogênio amoniacal o que necessitava em média de três horas para tratar 3,5 litros de lixiviado.

Os resultados da coagulação podem ser vistos na tabela 1 e 2:

Tabela 1: Escolha do melhor coagulante

pH	Cloreto Férrico		Sulfato de alumínio		Tanfloc SG		Tanfloc SL	
	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)
3	1430	24,2	2400	44,3	1800	16,7		
4	1280	73,6	1920	46,5	2500	14,9	2120	13,3
5	1330	39,4	2560	65,5	2450	25,1	1985	45,7
6	2210	116	2520	117	2080	39,1	2210	45,7
7	2250	91,2	2690	116	1950	49,9	2220	217
Bruto	2700	133	3020	133	2770	133	2880	133

Como pode ser visto pela tabela o cloreto férrico foi o que apresentou melhor resultado entre os coagulantes testados. O pH onde a remoção foi mais eficiente foi o pH 4, porém devido a pequena diferença de eficiência o pH 5 foi escolhido para o prosseguimento dos experimentos pois representa um menos gasto com reagentes.

Tabela 2: Estudo da variação da concentração de Cloreto Férrico na remoção da DQO

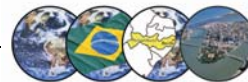
Concentração (mg/L)	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)
500	1770	51,2
1000	1550	92,2
1500	1260	52,3
2000	1180	50,4

Como o esperado, com o aumento da concentração de cloreto férrico ocorre a diminuição da DQO, porém, como uma medida de economia de reagentes a concentração escolhida para operação do processo foi a de 1500 mg/L visto que a diferença entre esta concentração e a de 2000 mg/L na remoção da DQO é de apenas 80 mg/L não justificando a utilização de tão alta concentração.

TERCEIRA ETAPA: ACOPLAMENTO DE PROCESSOS E REGERAÇÃO DA ZEÓLITA.

Com base nos resultados obtidos na segunda etapa, os processos mais adequados ao pré-tratamento do lixiviado antes da utilização da zeólita são o de arraste por ar seguido de coagulação com cloreto férrico. Esta combinação é a mais indicada pois o processo de arraste auxilia ao ajuste de pH necessário para a coagulação, reduzindo a necessidade de utilização de ácidos ou bases no processo.

A etapa de regeneração da zeólita ainda esta em estudo, porém estudos preliminares mostram que após o pré-tratamento esta capacidade de regeneração é aumentada devido a menor concentração de matéria orgânica adsorvida.



CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A zeólita apresenta grande capacidade de adsorção de nitrogênio amoniacal como pode ser visto na primeira etapa deste estudo, o que justifica o estudo;

A reação de Fenton apresenta para lixiviados, mecanismos de coagulação mais presentes que o mecanismo oxidativo.

O melhor coagulante para a utilização no lixividode Gramacho é o cloreto férrico, que apresentou resultados bem superiores aos demais como os coagulantes comerciais Tanfloc SG e Tanflc SL;

O melhor pré-tratamento dentre os estudados é a combinação do processo de arraste por ar seguido da coagulação, o que minimiza a utilização de reagentes;

A capacidade de regeneração da zeólita é a característica que garante a viabilidade do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnica Ambiental REGEO 2003 - Porto Alegre, RS. Anais do... Porto Alegre, RS, 2003.
2. OLIVEIRA, C. R. e RUBIO J., ADSORÇÃO DE ÍONS EM ZEÓLITA NATURAL FUNCIONALIZADA, Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental (LTM), Departamento de Engenharia de Minas, PPGEM – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
3. PAIVA, P. R. P. e FALCÃO, G. F. . CARACTERIZAÇÃO DE ZEÓLITA E SUA APLICAÇÃO COMO ADSORVENTE DE $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. In: XIII Jornada de Iniciação Científica CETEM, 2005, Rio de Janeiro/RJ.
4. RITTER, E., CAMPOS, J.C.; 2006. Avaliação da Sorção e Difusão de Íons Inorgânicos do Chorume e da Argila Orgânica do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ); Solos e Rochas, São Paulo, 29, (1): 77-88, Janeiro-Abril.
5. SOUTO. G. D. DE BRITO e POVINELLI, J. (2007) - Características do Lixiviado de Aterros Sanitários no Brasil. 24º. Congresso brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte.